

Bibliography:

1. Samotugin S.S. Plasma work-hardening of instrumental materials / S.S. Samotugin, L.K. Leschinskiy. – Donetsk: Noviy mir, 2002. – 338 p. (Rus.)
2. Garkunov D.N. Tribotechnics (constructing, making and exploitation of machines): Textbook. - 5th publ., processed and complemented / D.N. Garkunov. – M.: «Izdatelstvo MSHA», 2002. – 632 p. (Rus.)
3. Bases of tribology (friction, wear, greasing) : textbook for technical institutions of higher learning. 2th publ. of перераб. and доп. / A.V. Chichinadze [and other]; under general release. A.V. Chichinadze. – M.: Engineer, 2001. – 664 p. (Rus.)
4. Estimation of influence of gradient plasma modification on the tense state of surface of steel-works / Samotugin S.S. [and other] // Protecting of metallurgical machines is from breakages: un. sience.works. – Mariupol: SHSE «PSTU», 2012. – pr.13. - P. 121-124. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 30.04.2014

УДК 621.921

© Андилахай А.А. *

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СВОБОДНОГО
АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА ПОД ОСТРЫМ УГЛОМ К ОБРАБАТЫВАЕМОЙ
ПОВЕРХНОСТИ**

Получены аналитические зависимости для определения энергоемкости резания при внедрении абразивного зерна под острым углом к обрабатываемой поверхности. Обоснованы условия уменьшения энергоемкости абразивной обработки свободным абразивным зерном.

Ключевые слова: струйно-абразивная обработка скорость абразивного зерна, плоскость сдвига, касательное напряжение, качество обработки, коэффициент абразивного резания.

Анділахай О.О. Визначення енергоємності при впровадженні вільного абразивного зерна під гострим кутом до оброблюваної поверхні. Отримано аналітичні залежності для визначення енергоємності різання при впровадженні абразивного зерна під гострим кутом до оброблюваної поверхні. Обґрунтовано умови зменшення енергоємності абразивної обробки вільним абразивним зерном.

Ключові слова: струменево-абразивна обробка, швидкість абразивного зерна, площину зсуву, дотичне напруження, якість обробки, коефіцієнт абразивного різання.

O.O. Andilakhay. Definition of energy consumption at implementation of free abrasive grains at an acute angle machined surfaces. Analytical dependences were obtained to determine the energy consumption in the implementation of cutting abrasive grain at an acute angle to the work surface. Justified by the condition of decreasing energy intensity abrading free abrasive grain.

Keywords: abrasive blast treatment, the rate of abrasive grains, the shear plane, the shear stress, the quality of treatment, the ratio of the abrasive cutting.

Постановка проблемы. В приборостроении и электротехнической промышленности получил применение метод абразивной обработки деталей затопленными струями, являющийся наиболее перспективным методом струйно-абразивной обработки мелких деталей малой жест-

* д-р техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, andilakhay@mail.ru

кости. Данный метод исключает основной недостаток струйно-абразивных установок – абразивный износ каналов сопел или инжекционных насадок, однако недостаточно изучен и не позволяет в максимальной степени использовать потенциальные возможности в плане повышения производительности обработки и обеспечения требуемых параметров качества. Это требует дальнейших исследований технологических закономерностей данного метода, особенно динамики взаимодействия абразивных зерен с обрабатываемым материалом.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованию динамики процесса струйно-абразивной обработки посвящены работы, в которых определены оптимальные условия обработки по критерию производительности и качества [1]. Однако эти условия получены на основе экспериментальных исследований, справедливых для частных условий обработки. Применение их для других режимов обработки и характеристик абразивных зерен не всегда возможно. Поэтому необходимы более общие теоретические решения, позволяющие аналитически описать процесс в широких диапазонах изменения параметров обработки. Прежде всего, это относится к аналитическому описанию энергетики движения абразивного зерна в обрабатываемом материале, что позволит оценивать и сравнивать различные методы струйно-абразивной обработки. Научной основой решения данной задачи следует рассматривать теоретический подход к анализу закономерностей абразивной обработки, разработанный проф. Новиковым Ф.В. [2]. В связи с этим представляется актуальным развитие этого подхода применительно к струйно-абразивной обработке.

Цель статьи. Целью статьи является теоретическое обоснование условий повышения производительности и качества струйно-абразивной обработки. Для достижения поставленной цели необходимо решить проблему минимизации энергозатрат движения абразивного зерна в обрабатываемом материале и условиями образования микросрезов. Это позволит определить возможности интенсификации обработки.

Изложение основного материала. Для решения поставленной проблемы рассмотрим условия, при которых со стороны движущегося со скоростью V_0 абразивного зерна на обрабатываемый материал действуют главная P_z и радиальная P_y составляющие силы резания, которые вызывают периодическое разрушение (сдвиг) материала вдоль условной плоскости сдвига, расположенной под углом β к направлению движения зерна (рис. 1) [3].

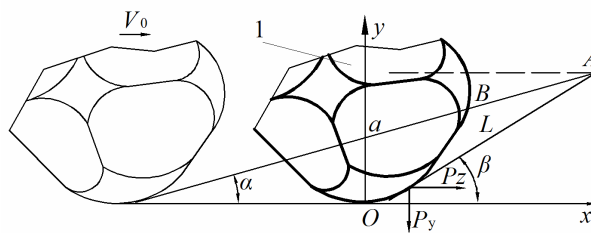


Рис. 1 – Расчетная схема внедрения абразивного зерна в металл

Для определения положения условной плоскости сдвига О-А (рис. 2) обрабатываемого материала установим касательное напряжение τ , возникающее в данной плоскости:

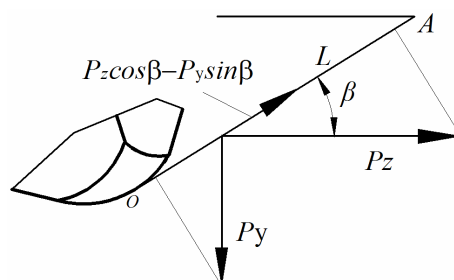


Рис. 2 – Расчетная схема к определению касательного напряжения

$$\tau = \frac{P_z \cdot \cos \beta - P_y \cdot \sin \beta}{\epsilon \cdot L}, \quad (1)$$

где ϵ – ширина среза, м; $L=OA$ – длина плоскости сдвига материала, м.

Длину L найдем на основе решения двух тригонометрических уравнений, вытекающих из рис. 1:

$$\begin{cases} y = a + tg\alpha \cdot x, \\ y = tg\beta \cdot x, \end{cases} \quad (2)$$

где x и y – координаты точки пересечения условной плоскости сдвига OA с обрабатываемой поверхностью BA ; a – толщина среза, м; α – угол входа абразивного зерна в обрабатываемый материал.

Решая систему уравнений (2), имеем

$$\begin{aligned} tg\beta \cdot x &= a + tg\alpha \cdot x \\ tg\beta \cdot x - tg\alpha \cdot x &= a \\ x(tg\beta - tg\alpha) &= a \\ x &= \frac{a}{(tg\beta - tg\alpha)}; \end{aligned}$$

Подставив значение x в выражение длины плоскости скалывания-сдвига L , получим:

$$L = \frac{x}{\cos \beta} = \frac{a}{\cos \beta \cdot (tg\beta - tg\alpha)}.$$

Подставляя полученные выражения в зависимость (1), одновременно умножая и деля выражение на P_y , получим:

$$\tau = \frac{P_y \cdot \cos \beta \cdot (tg\beta - tg\alpha)}{\epsilon \cdot a} \cdot (K_{uu} \cdot \cos \beta - \sin \beta), \quad (3)$$

где $K_{uu} = P_z / P_y$ – коэффициент абразивного резания, определяемый по зависимости [2]: $K_{uu} = ctg(\psi + \gamma)$; ψ – условный угол трения абразивного зерна с обрабатываемым материалом; γ – отрицательный передний угол режущего абразивного зерна.

При условии постоянства угла γ и $\psi + \gamma = \psi_1$, получим $K_{uu} = ctg\psi_1$. После соответствующих тригонометрических преобразований зависимость (3) выразится:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{P_y \cdot \cos \beta \cdot (tg\beta - tg\alpha)}{\epsilon \cdot a} \cdot (K_{uu} \cdot \cos \beta - \sin \beta) = \\ &= \frac{P_y}{\epsilon \cdot a} \cdot \frac{(\sin \beta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha \cdot \cos \beta)}{\sin \psi_1 \cdot \cos \alpha} \cdot (\cos \psi_1 \cdot \cos \beta - \sin \beta \cdot \sin \psi_1) = \\ &= \frac{P_y}{2 \cdot \epsilon \cdot a \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \alpha} \cdot [\sin(2\beta - \alpha + \psi_1) - \sin(\alpha + \psi_1)]. \end{aligned} \quad (4)$$

Как следует из зависимости (4), касательное напряжение τ с увеличением угла β изменяется по закону синусоиды $\sin(2\beta - \alpha + \psi_1)$. При условии $\sin(2\beta - \alpha + \psi_1) = 1$ касательное напряжение τ принимает максимальное значение τ_{max} . Угол β , соответствующий максимальному касательному напряжению τ_{max} , будет определять положение условной плоскости сдвига обрабатываемого материала:

$$\beta = \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha - \psi_1}{2}. \quad (5)$$

Как видно, условный угол сдвига обрабатываемого материала β тем больше, чем больше угол входа абразивного зерна в обрабатываемый материал α и меньше угол $\psi_1 = \psi + \gamma$, т.е. чем меньше условный угол трения обрабатываемого материала с абразивным зерном ψ (или

коэффициент трения f) и отрицательный передний угол режущего абразивного зерна γ .

Подставляя зависимость (5) в (4), определим максимальное касательное напряжение

$$\tau_{max} = \frac{P_y}{\epsilon \cdot a \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \alpha} \cdot \sin^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha}{2} - \frac{\psi_1}{2} \right).$$

Сдвиг обрабатываемого материала в условной плоскости OA произойдет при условии достижения максимальным касательным напряжением τ_{max} предела прочности на сдвиг обрабатываемого материала $\tau_{cдв}$. Тогда, принимая $\tau_{max} = \tau_{cдв}$, из полученной зависимости можно определить нормальную составляющую силы резания P_y :

$$P_y = 2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{cдв} \cdot \sin \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{[1 - \sin(\alpha + \psi_1)]}. \quad (6)$$

Соответственно, тангенциальная составляющая силы резания P_z равна

$$P_z = P_y \cdot K_{\text{ш}} = P_y \cdot \operatorname{ctg} \psi_1 = 2 \cdot a \cdot \epsilon \cdot \tau_{cдв} \cdot \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{1}{[1 - \sin(\alpha + \psi_1)]}. \quad (7)$$

Если представить тангенциальную составляющую силы резания в виде $P_z = a \cdot \epsilon \cdot \sigma$, то условное напряжение резания σ или энергоемкость обработки выразится

$$\sigma = \cos \psi_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2 \cdot \tau_{cдв}}{[1 - \sin(\alpha + \psi_1)]}. \quad (8)$$

При условии $\alpha = 0$ зависимость (8) принимает вид

$$\sigma = \frac{2\tau_{cдв} \cdot \sin(90^\circ - \psi_1)}{[1 - \cos(90^\circ - \psi_1)]} = \frac{2\tau_{cдв} \cdot \sin\left(45^\circ - \frac{\psi_1}{2}\right) \cdot \cos\left(45^\circ - \frac{\psi_1}{2}\right)}{\sin^2\left(45^\circ - \frac{\psi_1}{2}\right)} = \frac{2\tau_{cдв}}{\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\psi_1}{2}\right)}. \quad (9)$$

Зависимость (9) идентична зависимости, полученной в работе [2] для упрощенной схемы резания ($\alpha = 0$), что свидетельствует о достоверности выполненных расчетов.

С учетом зависимости (8) для условия $\alpha = 0$ зависимость (9) принимает вид

$$\sigma = \frac{2\tau_{cдв}}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (10)$$

Рассматривая тригонометрическое соотношение $\operatorname{tg} 2\beta = \frac{2\operatorname{tg} \beta}{1 - \operatorname{tg}^2 \beta}$ и пренебрегая в нем величиной $\operatorname{tg}^2 \beta$, которая значительно меньше единицы, зависимость (10) после преобразований выразится

$$\sigma = \frac{4\tau_{cдв}}{\operatorname{tg} 2\beta}. \quad (11)$$

Из зависимости (8) вытекает следующее соотношение

$$\operatorname{tg} 2\beta = \operatorname{tg}(90^\circ - \psi_1) = \operatorname{ctg} \psi_1 = K_{\text{ш}}.$$

Тогда зависимость (11) окончательно примет вид

$$\sigma = \frac{4\tau_{cдв}}{K_{\text{ш}}}. \quad (12)$$

Из зависимостей (6), (7) и (8) вытекает неоднозначный характер изменения радиальной P_y и тангенциальной P_z составляющих силы резания, а также условного напряжения резания σ с увеличением углов ψ_1 и α . С одной стороны, за счет числителя происходит уменьшение параметров P_y , P_z и σ с увеличением углов ψ_1 и α , а с другой стороны, за счет знаменателя – увеличение параметров P_y , P_z и σ . Пунктирной линией на рис. 3 показан график функции

$\sin(\alpha + \psi_1)$ и сплошной линией – график функции $1 - \sin(\alpha + \psi_1)$. Из зависимостей (6), (7) и (8) видно, что существуют экстремальные зависимости параметров P_y , P_z и σ от углов ψ_1 и α .

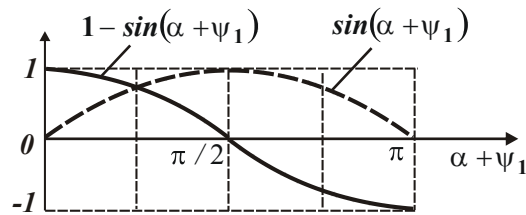


Рис. 3 – Графики функций $\sin(\alpha + \psi_1)$ и $1 - \sin(\alpha + \psi_1)$

Для определения экстремума функции P_z подчиним зависимость (7) необходимому условию экстремума: $(P_z)'_{\alpha} = 0$. После преобразований получим

$$\alpha = 90^\circ - \psi_1. \quad (13)$$

В результате подстановки зависимости (13) в (7), видим, что в точке экстремума функция P_z обращается в бесконечность (рис. 4).

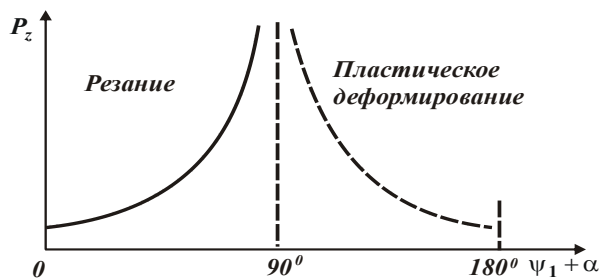


Рис. 4 – Общий вид зависимости P_z от угла $\psi_1 + \alpha$

Выводы

Таким образом, получено граничное условие между резанием и пластическим деформированием.

В итоге пришли к известной зависимости, приведенной в работе [2]. Следовательно, полученное решение (8) является обобщенным решением, из которого вытекает приведенное выше известное частное решение (12).

Получены аналитические зависимости для определения условного напряжения резания (энергоёмкости обработки) при условии образования сегментной формы среза единичным зерном, т.е. в момент входа режущего зерна в обрабатываемый материал под острым углом к обрабатываемой поверхности.

Список использованных источников:

1. Андилахай А.А. Абразивная обработка деталей затопленными струями / А.А. Андилахай. – Мариуполь: ПГТУ, 2006. – 190 с.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов, технологии машиностроения / под общ. ред. Ф.В. Новикова, А.В. Якимова: в 10 т. Т. 1. Механика резания материалов. – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
3. Новиков Ф.В. Теоретический анализ параметров силовой напряженности струйно-абразивной обработки / Ф.В. Новиков, А.А. Андилахай // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. Серія : Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – Вип. 7 (166). – С. 46-53.

Bibliography:

1. Andilayah A.A. Abrasive machining of parts submerged jets / A.A. Andilayah. – Mariupol: PSTU 2006. – 190 p. (Rus.)
2. Physico-mathematical theory of material processing, manufacturing engineering / General. Ed. F.V. Novikov, A.V. Yakimov: in 10 T.1. Mechanic cutting materials. – Odessa: ONPU 2002. – 580 p. (Rus.)
3. Novikov F.V. Theoretical analysis of parameters of the power intensity of abrasive blasting / F.V. Novikov, A.A. Andilayah // Naukovi pratsi of Donetsk nat. tehn. University that. Seriya: machine-building i mashinostvostvo. – Donetsk: Donetsk National Technical University, 2010. – Vip. 7. – P. 46-53. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 31.03.2014

УДК621.923.74

© Бурлаков В.И.*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАБОЧЕГО КОНТЕЙНЕРА
ПРИ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ**

В статье показано создание математической модели исследования влияния скоростей и ускорений элементов рабочей среды в различных зонах контейнера при помощи уравнений динамики движения контейнера, моделирования движения элементов загрузки с учетом конфигурации контейнера, а, следовательно, изменения давления в массе загрузки, прогнозирования зависимости съема металла от физико-механических параметров обработки.

Ключевые слова: математическая модель скорости и ускорения элементов загрузки, ось вращения дебаланса, эксцентриситет дебаланса, центр масс, уравнение движения контейнера.

Бурлаков В.И. Моделивання рухів робочого контейнера при вібраційній обробці.
У статті показано створення математичної моделі дослідження впливу швидкостей і прискорень елементів робочого середовища в різних зонах контейнера за допомогою рівнянь динаміки руху контейнера, моделювання руху елементів завантаження з врахуванням конфігурації контейнера, а, отже, зміни тиску в масі завантаження, прогнозування залежності знімання металу від фізико-механічних параметрів обробки.

Ключові слова: математична модель швидкості і прискорення елементів завантаження, вісь обертання дебаланса, эксцентриситет дебалансу, центр мас, рівняння руху контейнера.

V.I. Burlakov. Design of the motion of working container at oscillation treatment.
In the article creation of mathematical model of research of influence of speeds and accelerations of elements of working environment is shown in the different areas of container through equalizations of dynamics of motion of container, design of motion of elements of loading taking into account configuration of container, and, consequently, changes of pressure in-bulk loading, prognostications of dependence of metal output from the physics-mechanical parameters of treatment.

Keywords: mathematical model, speeds and accelerations of elements loading, axis and

* канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, burlakov_63@mail.ru